УДК 004.93

В.О. Остапенко
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України, Україна
пр. Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03187
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна
вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01601

МЕТОДИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ З ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ ВІРТУАЛЬНИХ ТРЕНАЖЕРІВ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

V.O. Ostapenko
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine
40, Academician Glushkov Ave., Kyiv, 03187
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
60, Volodymyrska St., Kyiv, 01601

METHODOLOGICAL INSTRUCTIONS FROM CONSTRUCTION OF COMPUTER VIRTUAL SIMULATOR IN DISTANCE LEARNING SYSTEMS

На сьогодні процес навчання і тренування операторів складних промислових технічних систем на реальних установках і в реальних умовах дуже небезпечний і дорогий, а часто й не може бути реалізованим. Альтернативою є комп'ютерні імітаційно-тренажерні комплекси, які в максимально можливій мірі моделюють реальні установки, породжують віртуальні об'єкти й дозволяють під час тренування отримати правильні й стійкі навички. В роботі описано методичні положення з побудови комп'ютерних віртуальних тренажерів у системах дистанційного навчання.

Ключові слова: моделювання, комп'ютерні імітаційно-тренажерні комплекси, системи дистанційного навчання

Today, the training of operators of complex industrial technical systems in real installations and in real conditions is very dangerous and expensive, and often can not be implemented. The alternative is computer simulation systems, which simulate real installations as much as possible, generate virtual objects and allow to gain the right and stable skills during training. The paper describes the methodological instructions for the construction of computer virtual simulators in the distance learning systems.

Keywords: modeling, computer simulation systems, distance learning systems

Вступ

У дистанційній освіті більшого розповсюдження набули системи 3D-візуалізації з елементами інтерактивності. Інтерактивність передбачає як можливість нелінійного вивчення матеріалу (за власним сценарієм учня), так і використання стандартних сценаріїв, які закладені в систему розробниками.

Особливо значимим при розробці та виготовленні систем професійного навчання з елементами 3D-візуалізації є відеоряд. З появою перших навчальних комплексів він став основою навчального процесу. Адже людині епохи кінематографу було звичним вживатися в події, зафіксовані на кіноплівці, й приймати їх як реальність. Так, кадри військової хроніки на екрані навчальної машини стимулювали швидше реагувати на мінливу обстановку, правильно використовувати наявні прилади й звикати до нестандартних ситуацій.

Постановка проблеми

Однак у системах, що використовувались у минулому, кількість ситуацій була невеликою, до того ж взаємозв'язок між ними й діями учнів був відсутній. Іншими словами, інформація, що відображалась на екрані, не залежала від дій і рішень учня, й це було великим недоліком тренування. Лише з розвитком комп'ютерних технологій програмне забезпечення навчальних комплексів дозволило скоординувати відеоряд з діями учня, а використання високо-

швидкісних мережевих систем дозволило не обмежувати місцезнаходження учнів і вести навчання у дистанційному режимі як з окремим учнем, так і з групою учнів, як з залученням наставника, так і в автономному режимі.

Реалістичність відеоряду, який людина бачить через окуляри приладів або лобове скло, є сьогодні одним з основних показників якості тренажерних комплексів. Чим вища адекватність і реалістичність ситуації, що відтворюється, тим легше співвіднести тренажер з реальністю, тим простіше вжитися в управління складними системами й повністю зануритися в створювану реальність.

Мета дослідження

Практично всі підходи до створення тренажерів з відкритими зв'язками передбачають адаптацію системи «тренажер-користувач» та мають кілька варіацій: адаптація користувача до системи або адаптація системи до користувача.

При цьому при побудові тренажерів з відкритими зв'язками відштовхуються від контексту їх використання (за часовим, просторовим і функціональним критеріями). Контекст може включати в себе таку інформацію, як рівень навколишнього шуму або освітлення, стан інтернет-з'єднання і його швидкість, навіть соціальні обставини користувача. Більш того, навчальні системи повинні передбачати призначені для користувача завдання або наміри.

Одним з найбільш поширених підходів до реалізації адаптивних навчальних систем є побудова динамічних сценаріїв [1]. Так формування адаптивної навчальної системи можна будувати за функціональністю, подібно комп'ютерним іграм з використанням нелінійних сюжетів, різноманітних рішень одних і тих самих задач, незакріпленого порядку розв'язків, багатоваріантних способів проходження курсу.

Так нелінійність сюжету можна реалізувати через розгалуження в певних місцях проходження курсу (рис. 1).

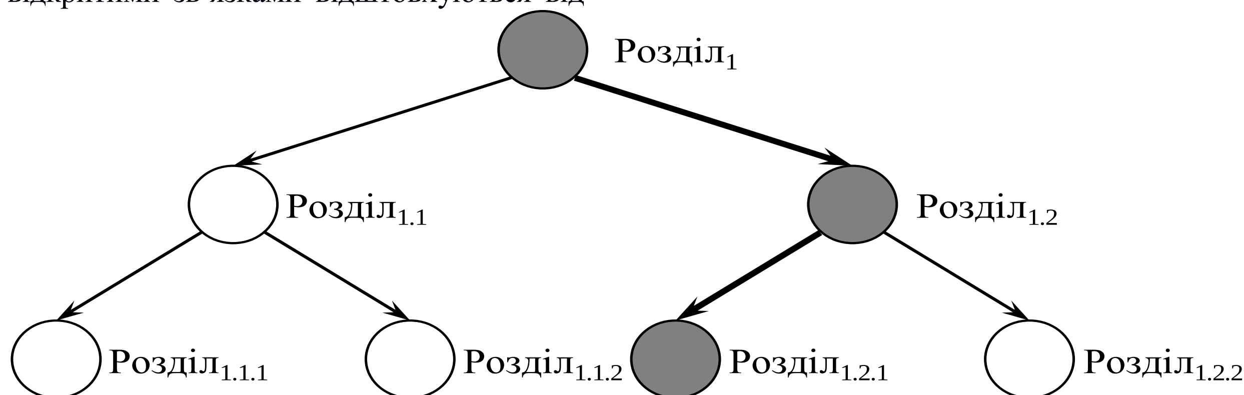


Рис. 1. Графічне представлення принципу нелінійності сюжету в адаптивних навчальних системах

Бажано користувачу надавати можливість вибору, але останні тенденції в побудові інтерактивних курсів вказують на те, що користувач має все менше бажання втручатись в процес побудови навчання, а отримує більше задоволення від автоматизації прийняття рішень в навчальній системі.

Як видно з рис. 1, нелінійний сюжет має ряд недоліків, такі як складність побудови (необхідність прописувати всі варіанти проходження) та пропуск окремих навчальних матеріалів, що може призвести до низького рівня засвоєння матеріалу в цілому.

Принцип різноманітності рішень – це нелінійність, в якій не обов'язково виконувати завдання (читати текст, розв'язувати рівняння) так, як задумав автор (рис. 2). У структурі закладена можливість знайти самостійне рішення. Така нелінійність вимагає врахування додаткових параметрів або відомостей про користувача [3].

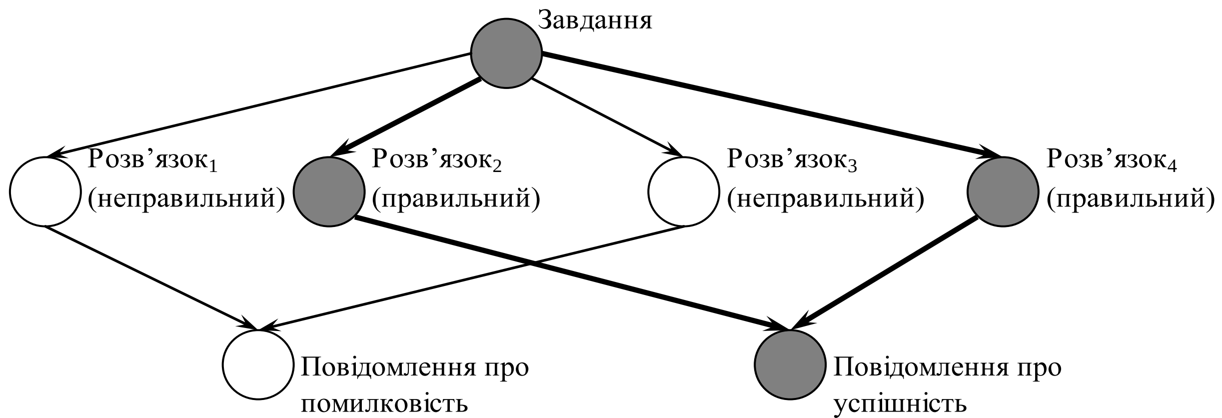


Рис. 2. Графічне представлення принципу різноманітності рішень в адаптивних навчальних системах

Принцип незакріпленого порядку розв'язків – це можливість самостійно обирати порядок виконання завдань (рис. 3), а в окремих випадках взагалі пропускати завдання й замінювати їх на подібні. Найпростіший шлях до використання – це автоматизація генерування завдань.

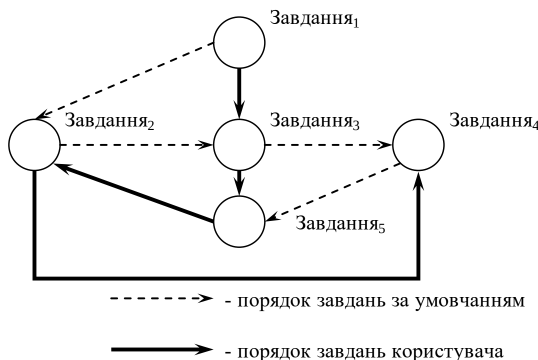


Рис. 3. Графічне представлення принципу незакріпленого порядку розв'язків

Для представлення 3D-світу у системах навчання необхідно вирішити 2 основні задачі: збереження інформації про самі об'єкти та правила їх взаємодії. Подібно до роботи [2], модель інтерактивної 3D-візуалізації в системі навчання представляється описанням наявних 3D-об'єктів (фізичні та функціональні) та оточуючого середовища (I3DV – модель візуалізації інтерактивного 3D-світу):

– параметри об'єктів: фізичні параметри 3D-об'єктів (тип об'єкта, координати у просторі, форма, склад, колір, матеріал, тощо) та функціональні параметри (прохідність об'єкта, параметри фізичної взаємодії між об'єктами, функціональні залежності між станом об'єктів, тощо);
– параметри оточуючого середовища (освітленість, сила тяжіння, погодні умови) [4]:

$$I3DV = \{OP\{PP, FP\}, EP\}, \text{ де}$$

OP – множина параметрів об'єкта (object parameters);

$PP = \{pp_1, pp_2,..., pp_k\}$ – підмножина фізичних параметрів (physical parameters);

$FP = \{fp_1, fp_2,..., fp_l\}$ – підмножина функціональних параметрів (functional parameters);

$EP = \{ep_1, ep_2,..., ep_m\}$ – множина параметрів навколишнього середовища (environmental parameters).

Фізичні параметри об'єктів слід вважати параметрами I (найнижчого) рівня, на які можуть впливати функціональні параметри II рівня та параметри оточуючого середовища III рівня.

У свою чергу, функціональні параметри розділяються на залежні (описують параметри об'єкта у взаємодії з іншими об'єктами (направлення переміщення об'єктів у радіусі вибуху)) та незалежні (прохідність об'єкта, можливість переміщення у просторі). На рис. 4 незалежні функціональні параметри мають індекси від 1 до e, незалежні функціональні параметри мають індекси від e+1 до l.

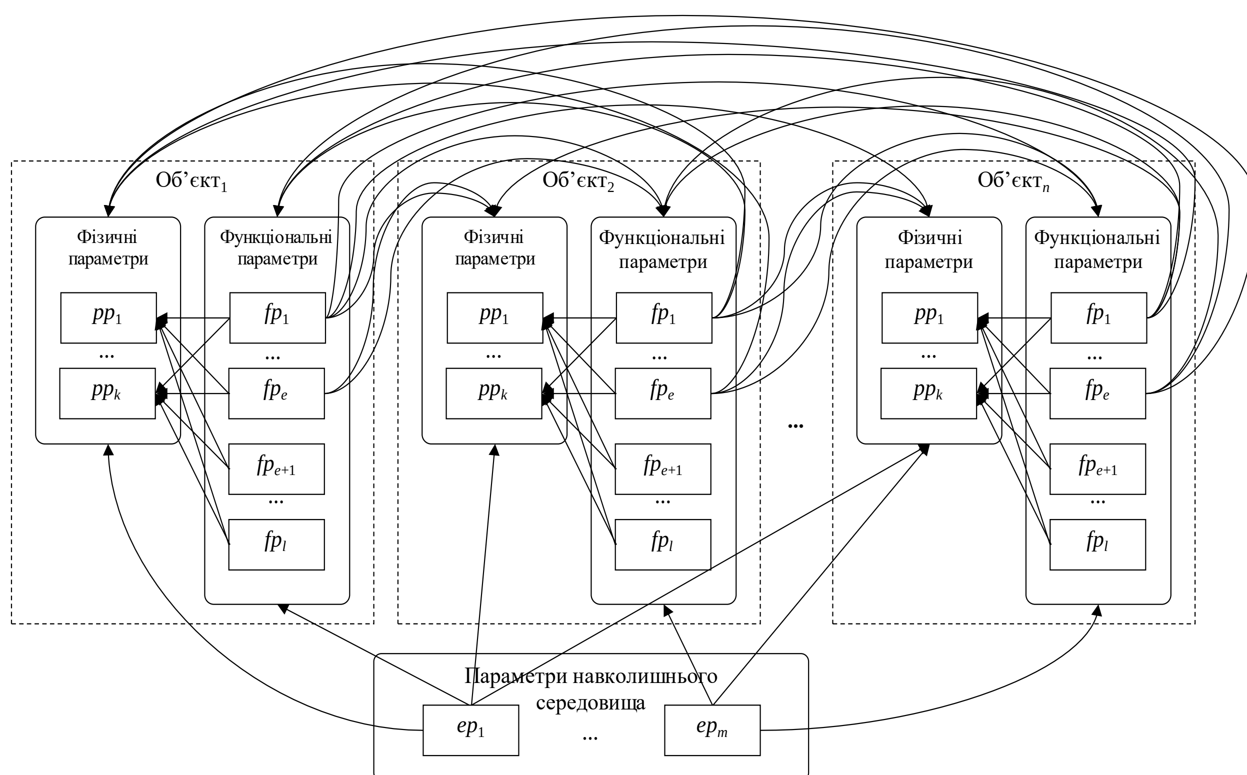


Рис. 4. Візуалізація зв'язків між параметрами об'єктів

Параметри оточуючого середовища можуть впливати на фізичні та функціональні параметри об'єктів (як всіх об'єктів, так і об'єктів за обраною ознакою (втрата форми та властивостей паперових об'єктів під час дощу)).

Для спрощення сприйняття на рис. 1 представлені не всі взаємодії між параметрами. Але всі вони подібні за описаними вище правилами.

У залежності від наповнення моделі значеннями параметрів, буде відбуватися наближення моделі до реального світу. Так для представлення моделі вугільних шахт для інтерактивного навчання методам ліквідації наслідків можливих аварій можна задіяти не всі параметри, а тільки фізичні (рис. 5).

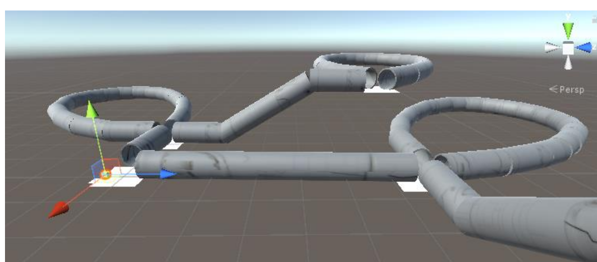


Рис. 5. Представлення спрощеної моделі шахти

Шахта розбита на групу ділянок з однаковою структурою. Чим більша величина дискретності, тим більше наближення моделі до реального світу, але тим більша складність системи, що збільшує вимоги до ресурсів моделюючого середовища [5].

Представлена модель, реалізована в середовищі Unity3D, складається з об'єктів двох типів (тунелі та перехрестя), кожен з об'єктів має свої властивості (рис. 6).

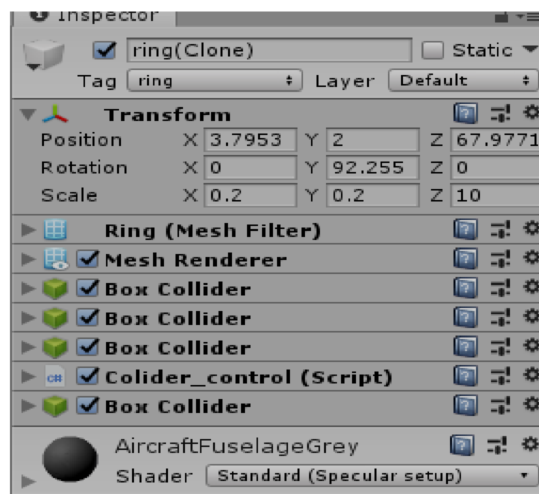


Рис. 6. Фізичні параметри об'єктів

Для збереження моделі було вирішено використовувати формат xml, який містить фізичні параметри всіх об’єктів: позиціювання за координатами, кут повороту об’єкта за осями X і Y, радіус та довжину [6, 7].

У вигляді прикладу представимо в форматі xml параметри об’єкта ring77:

```
<ring id="ring77">
<position x="3.7953" y="2"
z="67.97712"></position>
<rotation rotUp="0"
rotLeft="92.25482"></rotation>
<scale radius="0.2"
length="10"></scale>
</ring>
```

Всі параметри навколишнього середовища взяті в системі моделі з налаштувань за умовчанням системи Unity3D. Також в цій системі реалізовані методи керування камерами (рис. 7).

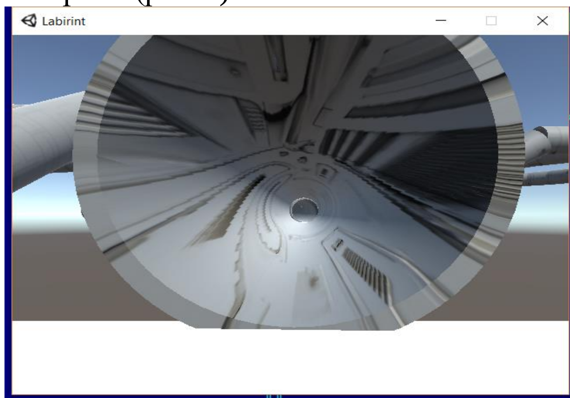


Рис. 7. Реалізація візуалізації шахт

При побудові 3D-моделей окремо вирішується задача пошуку шляху між точками на карті [8, 9, 10].

Модифікована модель віртуального тренажера на базі підходу з точки зору системи автоматів

При побудові моделі віртуального тренажера може виникнути низка помилок, яка потребує окремої діагностики. Для вирішення проблеми діагностики помилок при роботі зі складними об'єктами було модифіковано модель віртуального тренажера:

Тренажер = множина станів, множина управляючих впливів, множина правил, множина функціональних блоків, множина помилкових станів, де

множина станів – стани, отримані в просторі параметрів тренажера;

множина керуючих впливів – набір всіх можливих дій користувача з тренажером;

множина правил – трійка (*стан, керуючий вплив, наступний стан*), яка описує умови переходу тренажера з одного стану в інший;

множина функціональних блоків – відособлена частина тренажера, яка виконує свою самостійну задачу і не перетинається з іншими блоками;

множина помилкових станів – множина станів, які характеризують непрацездатність тренажера.

Правило = стан, керуючий вплив, наступний стан, де

стан – стан, в якому повинен знаходитися тренажер для застосування правила;

керуючий вплив – дія користувача, якого навчають (учня), коли було ініційовано зміну стану;

наступний стан – стан, в який перейде тренажер після застосування правила.

Функціональний блок = множина правил, множина цільових правил, де

множина правил – правила, які виконуються в рамках роботи з даним функціональним блоком;

множина цільових правил – у кожного блоку є своя мета (наприклад, встановити режим запуску), останнє правило, яке застосовується для досягнення мети блоку, і є цільове правило.

На рис. 8 представлений приклад роботи віртуального тренажера генератора імпульсів точної амплітуди на базі системи автоматів, яка передбачає наявність станів системи, переходів між даними станами і роботами в кожному із станів.

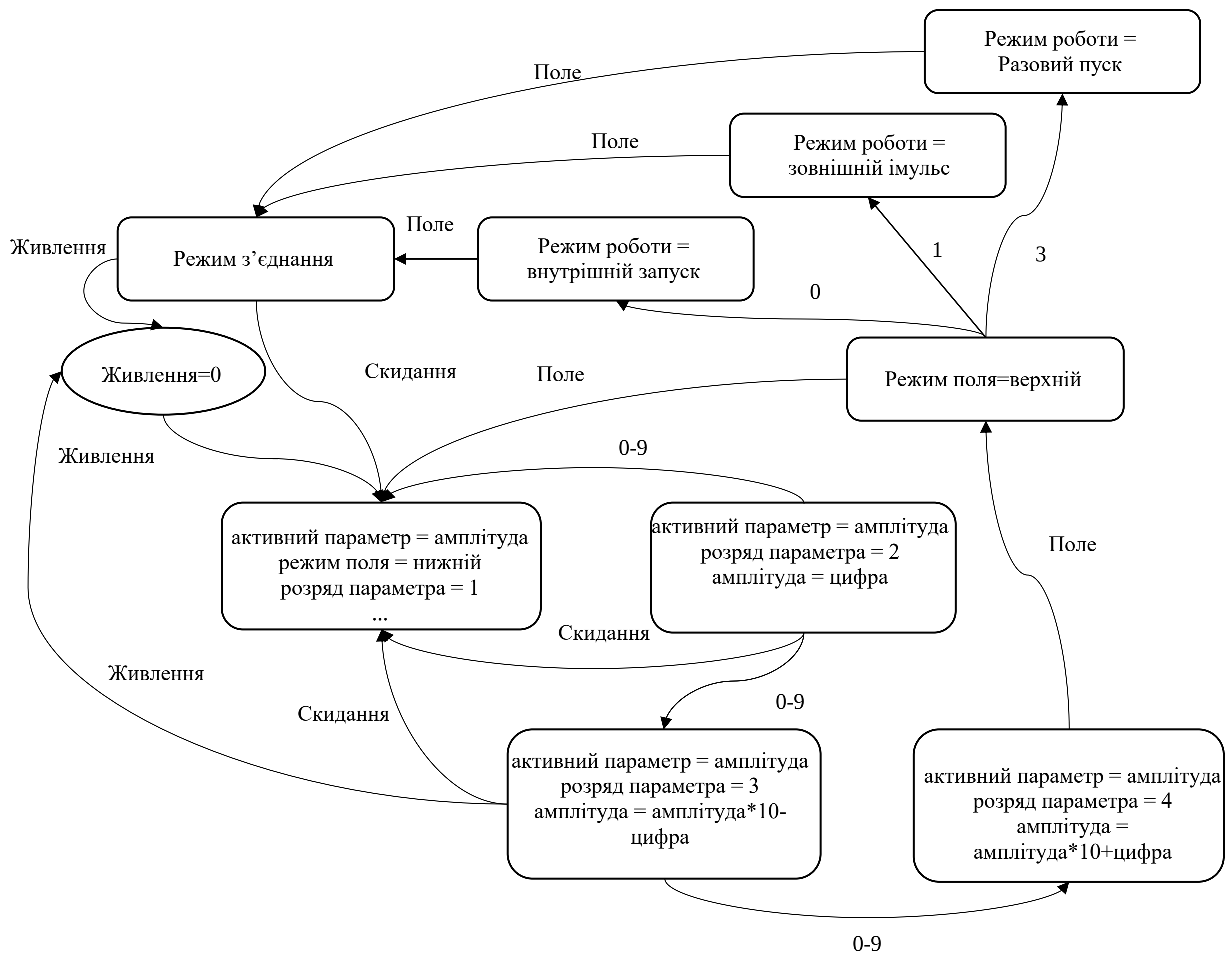


Рис. 8. Приклад роботи віртуального тренажера генератора імпульсів точної амплітуди

У відповідності до моделі на рис. 4, представимо змістовний опис алгоритму побудови тренажера (рис. 9).



Рис. 9. Алгоритм побудови тренажера

Описувана модель з рис. 4 та модифікований алгоритм успішно випробувані на практиці, серед різноманітних тренажерів. На рис. 10 показана архітектура тренажера. Для перевірки навичок роботи з тренажером учню видаються вправи. Вони характеризуються початковими і кінцевими станами:

Вправа = початковий стан, кінцеві стани, де

початковий стан – стан, з якого починається виконання вправи;

кінцеві стани – стани, в яких вправи вважається виконаними.

У процесі виконання вправи учень генерує управляючий вплив на тренажер. Запустимо лічильник тактів, кожен керуючий вплив збільшує показник лічильника на 1. Керуючий вплив ініціює зміну стану приладу. Стан приладу після такту t позначимо як $S(t)$. Що застосовується правило для переходу з стану $S(t\text{-}1)$ в $S(t)$, позначимо як $R(t)$.

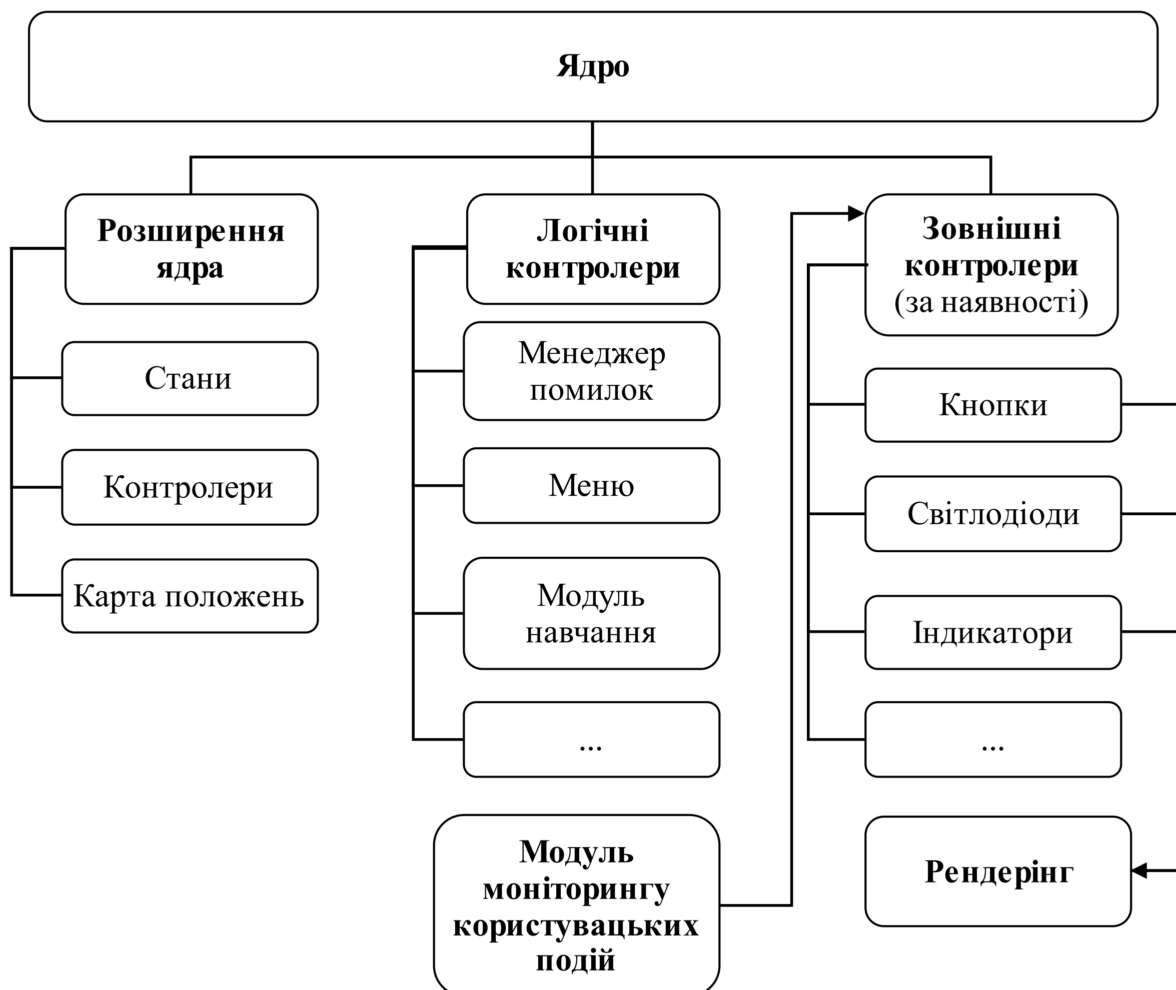


Рис. 10. Архітектура віртуального тренажера

Проведемо класифікацію помилок учнів і розробимо правила для визначення їх розподілу.

Петля:

$$S\,(t) = S\,(t - n)\,,\; n = 1.\,.t$$

Повернення до стану, який був у минулому, окремий випадок – відсутність із

трансформаційних змін стану після керуючого впливу.

Незмінний стан:

$$S(t) = S(t-1).$$

Керуючий вплив не змінює стан тренажера. Стан приладу співпадає з попереднім – приватний випадок петлі.

Помилка приладу:

$$S(t) \in \textit{множина помилкових станів}.$$

Користувач перевів тренажер в несправний стан. Поточний стан належить множині помилкових станів.

Повторне досягнення мети:

$$\exists\, b \in \textit{множині функціональних блоків} \wedge R(t) \in \textit{множині цільових правил блоку } b \wedge \exists\, n \neq t : R(n) \in \textit{множині цільових правил блоку } b.$$

Учень вдруге змінив який-небудь параметр, наприклад, виставив спочатку період на 10 секунд, потім на 8 секунд.

Перехід між блоками:

$$\exists\, b1, b2 \in \textit{множині функціональних блоків} \wedge R(t) \in \textit{множині правил блоку } b1 \wedge \exists\, n \neq t : R(n) \in \textit{множині цільових правил блоку } b2.$$

Учень спочатку виконував завдання в рамках одного функціонального блоку, потім на півдорозі перейшов на виконання мети в рамках іншого блоку. Наприклад, почав встановлювати період у 15 секунд, не закінчив і перейшов на включення режиму внутрішнього запуску.

Повторне використання функціонального блоку:

$$\exists\, b \in \textit{безлічі функціональних блоків} \wedge R(t) \in \textit{безлічі правил блоку } b \wedge \exists\, n \neq t : R(n) \in \textit{безлічі цільових правил блоку } b.$$

Учень почав змінювати будь-який параметр, який вже був виставлений до цього.

Учень виконав зайву дію, яка ніяк не впливає на результат вправи. Наприклад, почав налаштовувати амплітуду сигналу, коли для успішного завершення вправи цього не потрібно. На рис. 11 представлено змістовний опис алгоритму пошуку помилкових дій учня.

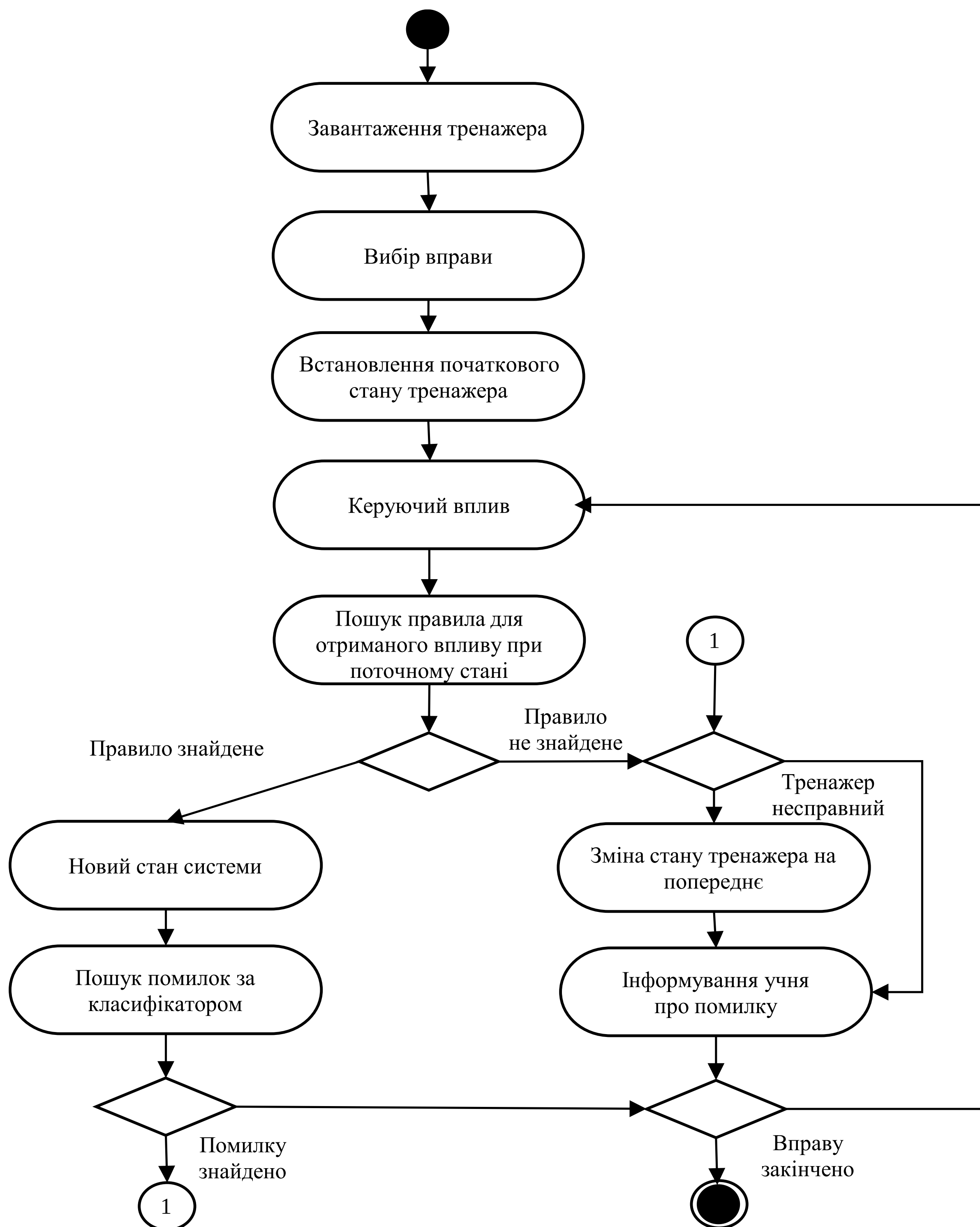


Рис. 11. Алгоритм пошуку помилкових дій учня

Результати експерименту з використання віртуального тренажеру

Проведено експеримент по роботі з тренажером серед двох груп учнів: технічні фахівці промислових підприємств із середньою технічною освітою і студенти технічного університету.

В якості тренажера обрано «Генератор імпульсів точної амплітуди». Учням необхідно було виконати чотири вправи, мінімальна кількість взаємодій з тренажером для виконання всіх вправ складає 54 дії. Отримані результати з допущених помилок згруповані в таблиці 1.

Таблиця 1. Класифікація помилок при роботі з тренажером технічних фахівців промислових підприємств із середньою технічною освітою і студентів

Помилка	*Відсоток допущених помилок на одного учня*		*К-сть неоптимальних взаємодій на одного учня*		*Відсоток оптимальних взаємодій на одного учня*	
	Фахівці	*Студенти*	*Фахівці*	*Студенти*	*Фахівці*	*Студенти*
Робота без включення приладу	*0,05*	*0,2*	*0,05*	*0,6*	*0,4*	*4,4*
Робота з приладом в неправильному режимі поля	*0,5*	*1,5*	*0,5*	*3,0*	*3,7*	*22,2*
Некоректне виставлення амплітуди	*0,2*	*0,25*	*0,8*	*2*	*5,9*	*14,8*
Некоректне виставлення періоду	*0,2*	*0,25*	*0,6*	*1,5*	*4,4*	*11,1*
Некоректне виставлення тривалості імпульсів	*0,2*	*0,25*	*0,6*	*1,5*	*4,4*	*11,1*
Некоректне виставлення тимчасового зсуву	*0,2*	*0,25*	*0,6*	*1,5*	*4,4*	*11,1*
Некоректне виставлення множника для часових параметрів	*0,2*	*0,25*	*0,4*	*1,0*	*3,0*	*7,4*
Запуск в неправильному режимі роботи	*0,2*	*0,5*	*0,2*	*1,0*	*1,5*	*7,4*
Помилки в налаштуванні атенюатора	*0,1*	*0,2*	*0,1*	*0,4*	*0,7*	*3,0*

У таблиці 2 показаний результат застосування методу аналізу дій і діагностики помилок учнів для представлених вихідних даних після класифікації за типами помилок.

Таблиця 2. Застосування методу аналізу дій і діагностики помилок технічних фахівців промислових підприємств із середньою технічною освітою і студентів

Тип помилки	*Кількість помилок на одну вправу*	
	Технічні фахівці	*Студенти*
Петля	*0,09*	*0,18*
Повторне досягнення мети	*0,57*	*0,91*
Перехід між блоками	*0,20*	*0,25*
Повторне використання функціонального блоку	*0,52*	*1,21*
Помилка приладу	*0,00*	*0,00*
Використання функціонального блоку без досягнення мети	*0,45*	*1,00*
Незмінний стан	*0,03*	*0,10*

Висновки

У роботі запропоновано методичні положення з побудови комп'ютерних віртуальних тренажерів в системах дистанційного навчання.

Наведено модифіковану модель віртуального тренажера на базі розроблюваного в роботі підходу на системи автоматів.

Проведено експеримент по роботі з тренажером серед двох груп учнів: технічні фахівці промислових підприємств із

середньою технічною освітою й студенти технічного університету.

Показано результат застосування методу аналізу дій і діагностики помилок учнів для представлених вихідних даних після класифікації за типами помилок.

Література

1. Аткинсон Р. Введение в математическую теорию обучения / Р. Аткинсон, Г. Бауэр, Э. Кротерс. − Москва: Мир, 1969. − 486 с.
2. Артамонов Є.Б. Розробка підходу до формування адаптивних навчальних ресурсів / Є.Б. Артамонов // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 1. – С. 239-243.
3. Шибут М.С. Модели адаптивной навигации в учебной гиперсреде // Искусственный интеллект. – 2008 .– №4. – С. 500–511.
4. Остапенко В.О. Про засоби 3D-навчання «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» / Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В., Остапенко В.О., Чумаков В.Г., Коваль О.С. // Компьютерная математика. – 2019. – №1. – С. 49-55.
5. Остапенко В.О. 3D візуалізація в системах професійного навчання // Тези доповідей наук.-практ. конф. "Сучасні тенденції розвитку системного програмування" (26-27 листопада 2019 р.). – К.: НАУ, 2019. – С. 30.
6. Остапенко В.О. Особливості візуалізації 3D-об'єктів в системах дистанційного навчання "Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління" матеріали Міжнародної науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених, м. Івано-Франківськ, 27-29 листопада 2019 року. – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника, 2019. – С. 22-24.
7. Artamonov Y.B., Ostapenko V.O. 3D visualization in learning systems // Матеріали XIV міжнар. наук.-техн. конф. "Авіа-2019" (23-24 квітня 2019). – К.: НАУ, 2019. – електронний збірник. Постійне посилання: http://conference.nau.edu.ua/index.php/AVIA/AVIA2019/paper/view/6230/4724.
8. Винокурова, С.Е. Модификация метода навигационного графа для поиска пути в трехмерном пространстве // Программные системы и вычислительные методы. – 2014. – № 1. – С. 109-124.
9. Cui, X., Shi, H. A*-based Pathfinding in Modern Computer Games / X. Cui, H. Shi // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security-Vol.11 No.1, January 2011.
10. Mika, M., Charla, C. Simple, Cheap Pathfinding / M. Mika, C. Charla // AI Game Programming WisDom-2002.

References

1. Vvedenie v matematicheskuyu teoriyu obucheniya / R. Atkinson, G. Bauer, E. Kroters. − Moskva: Mir, 1969. − 486 s.
2. Artamonov Ye.B. Rozrobka pidkhodu do formuvannia adaptyvnykh navchalnykh resursiv / Ye.B. Artamonov // Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy. – 2017. – № 1. – P. 239-243.
3. Shibut M.S. Modeli adaptivnoj navigacii v uchebnoj gipersrede // Iskusstvennyj intellekt. – 2008 .– №4. – P. 500–511.
4. Ostapenko V.O. Pro zasoby 3D-navchannya «UPRAVLINNYA_TEP» / Pysarenko V.H., Pysarenko Yu.V., Ostapenko V.O., Chumakov V.H., Koval' O.S. // Komp'yuternaya matematyka. – 2019. – #1. – P. 49-55.
5. Ostapenko V.O. 3D vizualizatsiya v systemakh profesiynoho navchannya // Tezy dopovidey nauk.-prakt. konf. "Suchasni tendentsiyi rozvytku systemnoho prohramuvannya" (26-27 lystopada 2019 r.). – K.: NAU, 2019. – P. 30.
6. Ostapenko V.O. Osoblyvosti vizualizatsiyi 3D-ob"yektiv v systemakh dystantsiynoho navchannya "Komp"yuterni nauky, informatsiyni tekhnolohiyi ta systemy upravlinnya" materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi zdobuvachiv vyshchoyi osvity ta molodykh vchenykh, m. Ivano-Frankivs'k, 27-29 lystopada 2019 roku. – Ivano-Frankivs'k: Prykarpat·s'kyy natsional'nyy universytet im. Vasylya Stefanyka, 2019. – P. 22-24.
7. Artamonov Y.B., Ostapenko V.O. 3D visualization in learning systems // Materialy XIV mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Avia-2019" (23-24 April 2019). – K.: NAU, 2019. – Elektronnyi zbirnyk. URL: http://conference.nau.edu.ua/index.php/AVIA/AVIA2019/paper/view/6230/4724.
8. Vinokurova, S.E. Modifikaciya metoda navigacionnogo grafa dlya poiska puti v trekhmernom prostranstve // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. – 2014. – № 1. – P. 109-124.
9. Cui, X., Shi, H. A*-based Pathfinding in Modern Computer Games / X. Cui, H. Shi // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security-Vol.11 No.1, January 2011.
10. Mika, M., Charla, C. Simple, Cheap Pathfinding / M. Mika, C. Charla // AI Game Programming WisDom-2002.

RESUME

V.O. Ostapenko

Methodological instructions from construction of computer virtual simulator in distance learning systems

The process of training and coaching operators of complex industrial technical systems in real installations and in real conditions is very dangerous and expensive, and often can not be implemented. The alternative is computer simulation systems, which simulate real installations as much as possible, generate virtual objects and allow you to gain the right and stable skills during training. The realism of the video, which a person sees through the glasses or windshield, is today one of the main indicators of the quality of training complexes. The higher the adequacy of the reproducible situation, the easier it is to correlate the simulator with reality, the easier it is to get used to the management of complex systems and completely immerse yourself in the created reality. The methodical instructions on construction of computer virtual simulators in distance learning systems are offered in the work. The modified model of the virtual simulator on the basis of the automatic approach developed in work is resulted. An experiment on working with a simulator was conducted among two groups of students: technical specialists of industrial enterprises with secondary technical education and students of a technical university. The result of application of the method of analysis of actions and diagnostics of errors of pupils for the presented initial data after classification on types of errors is shown.

Надійшла до редакції 23.10.2019